

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ, МОЛОДІ ТА СПОРТУ УКРАЇНИ  
ХАРКІВСЬКА НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ МІСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА

Методичні вказівки  
до практичних занять і  
самостійної роботи  
з дисципліни

# *Системний аналіз довкілля*

*(для студентів 2 курсу денної форми навчання освітньо-кваліфікаційного рівня  
бакалавр напряму підготовки 6.040106 - “Екологія, охорона навколишнього  
середовища та збалансоване природокористування ”)*

Методичні вказівки до практичних занять і самостійної роботи з дисципліни “Системний аналіз довкілля ” (для студентів 2 курсу денної форми навчання освітньо-кваліфікаційного рівня бакалавр напряму підготовки 6.040106 - “Екологія, охорона навколишнього середовища та збалансоване природокористування ”) / Харк. нац. акад. міськ. госп-ва; уклад.: В. О. Бараннік – Х.: ХНАМГ, 2011. – 24 с.

Укладач: к. ф. -м. н., доц. В.О. Бараннік

Рецензент: к. т. н., доц. Т.В. Дмитренко

Рекомендовано кафедрою інженерної екології міст,  
протокол № 2 від 22.10.2010 р.

## ЗМІСТ

Стор.

Вступ.....	4
1. Мета, предмет, місце та зміст дисципліни.....	5
2. Теми та зміст практичних занять з дисципліни “Системний аналіз ”.....	6
3. Теми та зміст самостійної роботи з дисципліни “Системний аналіз ”.....	23

## Вступ

**Системний аналіз** – синтетична дисципліна, що розробляє і застосовує способи дослідження різноманітних складних систем або ситуацій при нечітко поставлених цілях (критеріях). Синтетична – об'єднує досягнення різних точних, прикладних і гуманітарних дисциплін, починаючи від методів математичного аналізу до методів психології. Складна система – система або об'єкт навколишнього природного середовища, властивості якого не можуть бути точно визначені через недостатню кількість знань про процеси в межах системи і її взаємодії з навколишнім середовищем. Нечітко поставлені цілі (критерії) - умови невизначеності, при яких критерії оцінки стану системи не є кількісно визначеними або не вичерпують різноманіття її станів або не є загальноприйнятими. Причинами малої ефективності застосування системного аналізу як методу розробки раціональних програм управління складною системою (навколишнім середовищем) є невміння дослідників представляти інформацію у формі, зрозумілій для особи, що приймає рішення (ОПР); переоцінка можливостей системного аналізу; неадекватність існуючих даних; невизначеність і труднощі встановлення причинно-наслідкових взаємозв'язків між змінними, що описують стан навколишнього середовища; досить поширена думка про неможливість використання аналітичних методів дослідження при рішенні проблем навколишнього середовища; нездатність окремих дослідників виразити цілі планування так, щоб можна було оцінити прогрес в рішенні поставленої задачі.

За своїм змістом і призначенням методами системного аналізу є способи конструювання множини варіантів вирішення проблеми, яка зачіпає інтереси осіб, що не збігаються, або, навіть, є суперечливими, і вибору єдиного якнайкращого з усіх точок зору компромісного варіанта.

Метою даного курсу є забезпечення загальноінженерної підготовки у галузі аналізу складних систем як основи для вивчення професійно-орієнтованих дисциплін та надання теоретичних знань та практичних навичок із системного аналізу в достатньому для професійної спеціалізації обсязі.

У даних методичних вказівках формулюються теми та стислий зміст практичних занять і самостійної роботи з дисципліни «Системний аналіз», що містяться у програмі та робочій програмі навчальної дисципліни; пропонується тематичний план (розподіл часу за темами, формами і видами навчальної роботи), рекомендується відповідна література.

Таким чином, дані вказівки містять необхідний мінімум інформації для складання студентами заліку з дисципліни.

# 1. МЕТА, ПРЕДМЕТ, МІСЦЕ ТА ЗМІСТ ДИСЦИПЛІНИ

## 1.1. мета, предмет та місце дисципліни

**Мета:** надання студентам теоретичних знань та практичних навичок у галузі аналізу складних систем навколишнього середовища як основи для вивчення професійно-орієнтованих дисциплін і виконання дипломного проекту.

**Предмет:** методи опису, аналізу та прогнозування стану систем довкілля в умовах обмеженої або нечіткої інформації.

**Зміст:** забезпечення можливостей використання набутих знань та умінь для опису, аналізу та прогнозування стану систем довкілля в умовах обмеженої інформації, а також для вивчення професійно-орієнтованих дисциплін і виконання дипломного проекту.

### Місце дисципліни в структурно-логічній схемі підготовки фахівця (за ОПП та за навчальним планом)

Перелік дисциплін, на які спирається вивчення даної дисципліни	Перелік дисциплін, вивчення яких безпосередньо спирається на дану дисципліну
Вища математика (математичний аналіз), Фізика (процеси переносу)	Моделювання і прогнозування стану довкілля; Стратегія сталого розвитку; студенти використовують отримані знання при виконанні дипломного проекту

## 1.2. Інформаційний обсяг (зміст) дисципліни

### **Модуль 1. Системний аналіз довкілля:**

( 3 кредити / 108 годин)

#### **ЗМ 1.1. Системний підхід.**

(0,5 кредиту / 18 годин)

Мета і завдання курсу. Основні терміни і визначення. Призначення системного аналізу, поняття системи (відкриті/закриті, проточні/непроточні), змінні, параметри, входи, виходи, ознаки складної системи. Концептуальні моделі (блок-схеми) систем. Основні стадії системного аналізу. Умови використання експертних оцінок в системному аналізі та організація експертного оцінювання. Метод “мозкового штурму”. Метод “Делфі”.

#### **ЗМ 1.2. Системний аналіз довкілля, моделювання стану екосистем**

(1,5 кредити / 54 години)

Місце моделювання в системному аналізі екологічних процесів. Поняття моделі, класифікація моделей, види математичних моделей. Стадії побудови детермінованих моделей. Принцип матеріального балансу. Закон діючих мас. Стехіометричні обмеження. Приклади побудови детермінованих моделей стану екосистем.

### **ЗМ 1.3. Системний аналіз довкілля, методи математичної статистики** (1 кредит / 36 годин)

Види моделей екологічних процесів. Принцип “чорної скрині ” та стадії створення статистичних моделей екологічних процесів. Приклади побудови статистичних моделей екологічних процесів. Застосування обчислювальної техніки і програмного забезпечення в системному аналізі.

#### **1.3. освітньо-кваліфікаційні вимоги**

<b>Вміння і знання(за рівнями сформованості знань)</b>	<b>Сфери діяльності (виробнича, соціально-виробнича, соціально-побутова)</b>	<b>Функції діяльності у виробничій сфері (проектувальна, організаційна, управлінська, виконавча, технічна та ін.)</b>
<b>1.</b> У процесі роботи зі структурованою інформацією на основі відомостей про зв'язки між елементами інформаційного матеріалу визначати наявність системи	виробнича	проектувальна
<b>2.</b> На основі результатів порівняльного аналізу визначеної системи з існуючими моделями систем установлювати її тип та характеристики	виробнича	проектувальна
<b>3.</b> На основі системного аналізу створювати концептуальні моделі екосистем	виробнича	проектувальна

### **ПРАКТИЧНІ ЗАНЯТТЯ** **ЗМІСТОВИЙ МОДУЛЬ 1.1. СИСТЕМНИЙ ПІДХІД**

#### **Заняття 1. Метод “мозкового штурму”**

**Мета заняття.** Ознайомитися на практиці з послідовністю і правилами групового пошуку доцільного варіанта вирішення нагальної проблеми в умовах дефіциту інформації щодо властивостей системи, в межах якої виникла проблема, а також часу і коштів на її повний системний аналіз.

**Стислі відомості.** У широкому розумінні системний аналіз – це дисципліна, що займається проблемами прийняття рішень в умовах, коли вибір альтернативи потребує аналізу складної інформації різної фізичної природи. Більш конкретно, отже й звужено, системний аналіз визначається як

методологія дослідження об'єктів на основі зображення їх у вигляді систем і аналізу цих систем методами логічного, математичного або фізичного моделювання, що є ефективним засобом розв'язання складних, недостатньо чітко сформульованих завдань.

Як синтетична прикладна наука, що поєднує підходи, методи та результати досліджень інших дисциплін у діапазоні від точних наук до психології, соціології тощо, системний аналіз сформувався і отримав стрімкий розвиток після Другої світової війни. На практиці доведено, що проблеми та системи довкілля повністю відповідають умовам застосування системного аналізу.

Основними етапами системного підходу до аналізу й вирішення проблем довкілля є:

- Визначення границь та елементів системи, в межах якої існує проблема, а також екологічних, економічних і соціальних критеріїв оцінки її проявів або наслідків.
- Збір інформації щодо елементів системи, визначення її структури, причинно-наслідкових зв'язків та побудова концептуальної моделі (блок-схеми) системи.
- Встановлення змінних системи та побудова її математичної моделі, що визначає зв'язок виходів системи з її входами.
- Визначення можливих варіантів впливу на входи системи та вибір найдоцільнішого через моделювання та порівняння виходів системи за встановленими критеріями.

Реалізація системного підходу для вирішення певної проблеми у повному обсязі виконується через процедури, що потребують тривалого часу і досить великого обсягу коштів на їх виконання. В умовах дефіциту інформації щодо властивостей складної системи, в межах якої виникла проблема, а також часу і коштів на її повний системний аналіз рекомендується використовувати експертні методи пошуку доцільного варіанта вирішення термінової проблеми. Найбільш поширеним методом термінового вирішення проблеми є метод “мозкового штурму”.

Метод “мозкового штурму” проводиться за певними правилами і в певному порядку. Організовує і контролює процес пошуку доцільного варіанта вирішення термінової проблеми методом “мозкового штурму” особа, що приймає рішення (ОПР). Сам “мозковий штурм” проводиться у три етапи.

**Етап 1** (визначення завдання). ОПР усвідомлює проблему, її ознаки і терміновість. Ця фізична особа або колективний орган управління визначає склад групи експертів, що, по-перше, на її думку, будуть корисними для пошуку варіантів вирішення проблеми, і, по-друге, можуть бути легко залучені для спільної роботи у визначений термін. ОПР визначає термін першого засідання групи експертів і стисло інформує експертів щодо наявної проблеми, а також часу проведення і мети цих зборів (пошук можливих варіантів вирішення проблеми).

**Етап 2** (визначення варіантів вирішення проблеми). ОПР відкриває перше засідання групи експертів, визначає технічного секретаря зборів, що має вести протокол засідання, і детально інформує експертів відносно змісту проблеми, її

ознак і терміновості. Після цього ОПР пропонує вносити пропозиції щодо можливих варіантів вирішення проблеми. Водночас він попереджає експертів строго додержуватись наступних правил участі в обговоренні:

- Пропозиції подаються в усній і письмовій формах для полегшення роботи технічного секретаря зборів;
- Кожен учасник засідання має подати щонайменше одну пропозицію (непогано також продумати засоби заохочення експертів щодо активності подання пропозицій);
- Ніхто з присутніх не повинен оцінювати або критикувати пропозиції, що подаються, навіть за умов, коли вони комусь здаються абсурдними або нереальними.

Після того, як потік пропозицій вичерпано, ОПР визначає термін і мету наступного засідання експертів (обговорення пропозицій) а також призначає з числа присутніх експертів особу або кілька осіб разом з технічним секретарем, що мають після закриття засідання:

- класифікувати всі внесені пропозиції за змістовими групами (організаційні, економічні, технічні пропозиції тощо);
- підготувати до наступного засідання і роздати кожному експерту таблицю (наприклад, табл. 1), де наведені усі пропозиції, об'єднані у змістовні групи.

**Таблиця 1 Пропозиції щодо вирішення проблеми**

<b>Зміст пропозиції</b>	<b>Оцінка в балах</b>
1. Організаційні 1.1.Зміст першої пропозиції 1.2.Зміст другої пропозиції 1.3.тощо	
2. Економічні 2.1.Зміст першої пропозиції 2.2.Зміст другої пропозиції 2.3.тощо	
3. Технічні 3.1.Зміст першої пропозиції 3.2.Зміст другої пропозиції 3.3.тощо	

**Етап 3** (визначення доцільних варіантів вирішення проблеми). На другому засіданні ОПР пропонує провести обговорення очікуваної корисності (ефекту) і очікуваних витрат (витрат) кожної з усіх внесених пропозицій з метою визначення їх відносної доцільності за певною шкалою. Наприклад, може бути обрана п'ятибальна шкала оцінювання:

- 5 балів – вища доцільність;
- 4 бали – висока доцільність;
- 3 бали – посередня доцільність;
- 2 бали – низька доцільність;
- 1 бал – найнижча доцільність;
- 0 балів – нереальна пропозиція.



Обговорення і оцінка пропозиції проводиться за наступними правилами:

- Кожен експерт повинен висловити свою точку зору щодо корисності (очікуваний ефект) і втрат (очікувані витрати на реалізацію) від кожної пропозиції. При цьому ОПР може встановити певний порядок участі експертів в обговоренні так, щоб в першу чергу надавалась можливість висловитись експертам, що мають менший авторитет (за посадою або досвідом або апливом на присутніх).
- По закінченні обговорення чергової пропозиції кожний експерт має проставити в таблиці відповідний до його персональної оцінки бал доцільності.

Після закінчення обговорення усіх пропозицій усі таблиці з персональними експертними оцінками доцільності пропозицій надаються технічному секретарю. На цьому друге засідання експертної групи закінчується.

Після закінчення засідання технічний секретар готує звітну таблицю експертних оцінок (наприклад, у вигляді табл. 2) і надає її ОПР.

**Таблиця 2 Експертні оцінки в балах доцільності пропозицій щодо вирішення проблеми**

Склад групи експертів:	Експерт 1	Експерт 2	..	Експерт N
<i>Зміст пропозиції</i>				
<i>Коефіцієнт вагомості експертної думки:</i>	<i>Оцінка в балах</i>			
1. Організаційні				
1.1.Зміст першої пропозиції				
1.2.Зміст другої пропозиції				
1.3.тощо				
2. Економічні				
2.1.Зміст першої пропозиції				
2.2.Зміст другої пропозиції				
2.3.тощо				
3. Технічні				
3.1.Зміст першої пропозиції				
3.2.Зміст другої пропозиції				
3.3.тощо				

Отримавши звітну таблицю, ОПР може використати різні підходи для визначення найдоцільніших варіантів вирішення проблеми, а саме:

- Визначити (за величиною балів доцільності) найкращі варіанти, спираючись виключно на точку зору експерта, якого ОПР вважає найбільш досвідченим і компетентним у проблемі, що розглядається.
- Якщо ОПР бажає взяти до уваги точки зору усіх експертів і має певні уявлення щодо відносної вагомості думок різних експертів, то вона може провести порівняння варіантів за інтегральною оцінкою доцільності. Для цього ОПР має встановити величину коефіцієнтів вагомості оцінки кожного експерта  $w_1, w_2, \dots, w_N$  так, щоб коефіцієнт вагомості точки зору найменш

компетентного експерта дорівнював одиниці  $w_i=1$ , а відношення коефіцієнтів вагомості  $w_j$  точок зору інших експертів до  $w_i$  ( $j \neq i$ ) було більше одиниці  $w_j / w_i > 1$  і тим більше, ніж більше у порівнянні вагомості їх точки зору. Тоді інтегральну оцінку доцільності кожного варіанту вирішення проблеми розраховують за формулою:

$$B = \sum_{n=1}^N w_n b_n, \quad (1)$$

де  $b_n$  є оцінка доцільності варіанта в балах, що надана експертом  $n$ .

- Якщо ОПР бажає прийняти до уваги точки зору усіх експертів за умовою рівної вагомості їх думок, то інтегральну оцінку доцільності кожного варіанту вирішення проблеми розраховують за формулою:

$$B = \sum_{n=1}^N b_n. \quad (2)$$

Найбільш доцільні варіанти вирішення проблеми з урахуванням думок усіх експертів визначаються за максимальними величинами інтегральної оцінки доцільності варіантів.

**Завдання 1 – Виходячи з експертних оцінок табл. 3, визначити найбільш доцільні варіанти вирішення абстрактної проблеми (пропозиції), користуючись визначеними поглядами на вагомості експертних думок.**

**Таблиця 3 Експертні оцінки в балах доцільності пропозицій щодо вирішення проблеми**

Склад групи експертів:	Експерт 1	Експерт 2	Експерт 3	Експерт 4	Експерт 5	Експерт 6	Експерт 7	Експерт 8	Експерт 9	Експерт 10	Експерт 11
Коефіцієнт вагомості експертної думки ( $w_n$ ):	1	1	1	2	2	2	3	3	5	5	7
<b>Зміст пропозиції</b>	<b>Оцінка в балах (<math>b_n</math>)</b>										
<i>1. Організаційні</i>											
1.1. Зміст пропозиції	5	5	4	4	4	3	3	3	2	2	1
1.2. Зміст пропозиції	3	3	2	2	1	1	2	3	2	4	4
1.3. Зміст пропозиції	1	2	2	3	2	4	3	4	5	4	4
1.4. Зміст пропозиції	2	1	3	3	2	5	5	3	3	4	5
1.5. Зміст пропозиції	1	0	0	2	1	0	2	1	1	0	1
1.6. Зміст пропозиції	4	4	5	5	3	3	3	4	4	4	5
1.7. Зміст пропозиції	3	3	2	2	3	3	3	2	2	2	3
1.8. Зміст пропозиції	1	2	2	2	1	1	1	2	2	2	2
1.9. Зміст пропозиції	3	3	3	4	4	4	3	3	4	4	4
1.10. Зміст пропозиції	1	1	2	2	2	3	3	3	4	3	2

2. Економічні											
2.1. Зміст пропозиції	0	1	2	3	3	4	1	4	3	4	3
2.2. Зміст пропозиції	1	0	2	3	3	4	1	4	3	4	4
2.3. Зміст пропозиції	1	2	2	2	3	3	1	4	3	4	2
2.4. Зміст пропозиції	1	2	1	2	3	3	2	3	3	4	2
2.5. Зміст пропозиції	2	4	1	1	2	4	2	3	2	3	3
2.6. Зміст пропозиції	2	4	1	1	2	4	2	3	2	3	3
2.7. Зміст пропозиції	2	3	4	4	2	3	1	4	2	3	4
2.8. Зміст пропозиції	3	3	4	4	1	3	4	5	2	4	5
2.9. Зміст пропозиції	4	3	4	5	0	4	4	5	2	4	5
3. Технічні											
3.1. Зміст пропозиції	5	4	3	4	2	4	2	3	0	2	3
3.2. Зміст пропозиції	5	4	3	4	2	4	2	3	0	2	3
3.3. Зміст пропозиції	4	3	2	3	1	3	1	3	1	2	4
3.4. Зміст пропозиції	4	3	2	3	1	3	1	4	1	1	4
3.5. Зміст пропозиції	3	4	1	3	2	4	1	4	2	1	4
3.6. Зміст пропозиції	5	4	1	4	3	5	2	4	2	4	3
3.7. Зміст пропозиції	5	3	1	2	3	5	2	4	2	4	5
3.8. Зміст пропозиції	2	3	2	2	2	4	3	4	1	3	4
3.9. Зміст пропозиції	2	4	2	4	2	2	2	3	1	3	3
3.10. Зміст пропозиції	1	4	3	5	4	2	2	3	0	2	3
3.11. Зміст пропозиції	1	3	4	5	3	4	1	5	0	4	3
3.12. Зміст пропозиції	0	3	4	4	2	3	0	5	1	3	4

### Заняття 2 – Метод Делфі

**Мета заняття.** Ознайомитися на практиці з послідовністю і правилами групового пошуку доцільного варіанта вирішення структурованої проблеми в умовах помірного обмеження на доступну інформацію щодо властивостей системи, в межах якої виникла проблема, а також час і кошти на її повний системний аналіз.

**Стислі відомості.** Метою застосування методу Делфі є надійне і продуктивне дослідження ідей або підготовка корисної інформації для прийняття управлінських рішень. Цей метод широко застосовується для прогнозування змін або розвитку суспільства, технологій, економіки, довкілля тощо. Метод Делфі базується на структурованому процесі накопичення та фільтрування інформації групою експертів за допомогою серії опитувань, що надаються експертам разом з їх відповідями, які були отримані у попередніх опитуваннях. Одною з важливих рис цього методу є те, що він передбачає такі процедури обміну думками експертів, які виключають можливість безпосереднього контакту на відміну від звичайного групового обговорення проблем.

Ключовими ознаками методу Делфі є (1) структурування інформаційного потоку, (2) забезпечення зворотного зв'язку для учасників опитувань (експертів), (3) анонімність учасників опитувань. Інформаційну взаємодію експертів має контролювати керівник групи, який фільтрує інформаційні

матеріали, що безпосередньо не пов'язані із завданням групи. Метод Делфі реалізується у наступній послідовності:

- Створення команди для проведення та контролю (менеджменту) Делфі - процесу, що має за мету певне завдання (питання, прогноз, проблема тощо).
- Відбір (селекція) експертів і створення експертної групи, що має відповідну фахову кваліфікацію щодо поставленого завдання.
- Підготовка опитувальника до першого етапу Делфі - процесу.
- Тестування опитувальника щодо коректності формулювань (наприклад, невизначеність, неоднозначність або недостатньо зрозумілі тлумачення).
- Передача першого опитувальника експертам і отримання їх відповідей.
- Аналіз відповідей експертів першого етапу Делфі - процесу.
- Підготовка (і, можливо, тестування) опитувальника до другого етапу Делфі - процесу.
- Передача другого опитувальника експертам разом з експертними висновками попереднього етапу і отримання їх чергових відповідей.
- Аналіз відповідей експертів другого етапу Делфі - процесу (етапи Делфі-процесу повторюються доти, доки буде досягнута бажана або необхідна стабільність відгуків експертів).
- Підготовка командою менеджменту звіту для надання висновків після проведення експертного аналізу.

Особливо слід підкреслити, що метод Делфі може розглядатися як засіб “останньої надії ” для аналізу надзвичайно складних проблем, що не визначаються адекватними методиками і моделями.

## **ЗМІСТОВИЙ МОДУЛЬ 1.2.**

### **Системний аналіз довкілля, моделювання стану екосистем**

#### ***Заняття 3 – Принцип матеріального балансу***

**Мета заняття.** Ознайомитися на практиці зі складовими матеріального балансу елементів інженерно-екологічної системи та правилами їх розрахунку.

**Стислі відомості.** Принцип матеріального балансу є наслідком фундаментального закону збереження маси речовини, відповідно до якого маса речовини не виникає з нічого і не зникає безслідно, але тільки переміщується у просторі, перетворюється у маси інших речовин або утворюється з маси інших речовин внаслідок реакцій. Математичним виразом матеріального балансу маси певної речовини в елементі системи є рівняння

$$\frac{dm}{dt} = j^{(+)} - j^{(-)} + r^{(+)} - r^{(-)}, \quad (3)$$

де:  $m$  – маса речовини в елементі (М);  $t$  – час (Т);  $j^{(+)}$  – потік речовини в елемент системи ззовні (М/Т);  $j^{(-)}$  – потік речовини з елемента назовні (М/Т);  $r^{(+)}$  – швидкість зростання маси речовини в елементі внаслідок реакцій (М/Т);  $r^{(-)}$  – швидкість зменшення маси речовини в елементі системи внаслідок реакцій (М/Т).

Якщо мірою величини елемента системи є його маса  $M$ , тобто маса усіх речовин, що його складають, то матеріальний баланс для маси елемента в цілому виражений рівнянням

$$\frac{dM}{dt} = J^{(+)} - J^{(-)} ; \quad (4)$$

$$J^{(+)} = \sum j^{(+)} ; \quad (5)$$

$$J^{(-)} = \sum j^{(-)} , \quad (6)$$

де  $J^{(+)}$  - це сумарний (повний) потік маси усіх речовин до елемента системи;  $J^{(-)}$  - сумарний потік маси усіх речовин з елемента системи. Реакції, що протікають у елементі, не впливають на його повну масу.

Враховуючи те, що маса  $m$  речовини в елементі визначається її вмістом (масовою часткою)  $C$  через співвідношення  $m = C \cdot M$ , з рівнянь (3) і (4) виводиться рівняння матеріального балансу для вмісту певної речовини в елементі системи:

$$\frac{dC}{dt} = j^{(n+)} - j^{(n-)} - (J^{(n+)} - J^{(n-)}) \cdot C + r^{(n+)} - r^{(n-)} , \quad (7)$$

$$j^{(n+)} = \frac{j^{(+)}}{M} ; \quad j^{(n-)} = \frac{j^{(-)}}{M} ; \quad (8)$$

$$J^{(n+)} = \frac{J^{(+)}}{M} ; \quad J^{(n-)} = \frac{J^{(-)}}{M} ; \quad (9)$$

$$r^{(n+)} = \frac{r^{(+)}}{M} ; \quad r^{(n-)} = \frac{r^{(-)}}{M} , \quad (10)$$

де верхніми індексами  $(n+)$  і  $(n-)$  позначені відповідні питомі величини.

**Завдання 2 – Виходячи з даних, наведених у табл. 4, визначити відсутні складові матеріального балансу маси елемента системи та маси його окремої речовини.**

**Таблиця 4 Складові матеріального балансу маси елемента системи**

$J^{(+)}$ , кг/с	$J^{(-)}$ , кг/с	$\frac{dM}{dt}$ , кг/с	$j^{(+)}$ , кг/с	$j^{(-)}$ , кг/с	$r^{(+)}$ , кг/с	$r^{(-)}$ , кг/с	$\frac{dm}{dt}$ , кг/с
3,75	2,14	?	1,17	2,18	4,32	3,16	?
3,17	?	-2,24	6,39	4,28	1,18	?	-2,24
?	0,035	0,064	1,12	3,17	?	4,14	2,74
$3,2 \cdot 10^{-4}$	$1,6 \cdot 10^{-4}$	?	4,32	?	1,68	2,34	-2,7
$1,7 \cdot 10^{-8}$	?	$1,2 \cdot 10^{-5}$	?	0,35	$1,2 \cdot 10^{-8}$	$3,4 \cdot 10^{-3}$	2,24

**Завдання 3 – За даними табл. 4 визначити питомі складові матеріального балансу для вмісту окремої величини та навести їх у вигляді табл. 5, якщо маса елемента системи дорівнює  $M = 127$  кг.**

**Таблиця 5**

$j^{(n+)}, 1/c$	$j^{(n-)}, 1/c$	$J^{(n+)} - J^{(n-)}, 1/c$	$r^{(n+)}, 1/c$	$r^{(n-)}, 1/c$

#### **Заняття 4 – Закон діючих мас та стехіометричні обмеження в моделюванні процесів довкілля**

**Мета заняття.** Ознайомитися на практиці з використанням закону діючих мас і стехіометричних обмежень у побудові детермінованих моделей інженерно-екологічних систем.

**Стислі відомості.** Відповідно до закону діючих мас, якщо реакції речовин протікають у розчинах, газових або дрібнодисперсних сумішах, і елемент системи є саме таким композитом, то питомі швидкості реакцій утворення або перетворення речовин у елементі залежать лише від вмісту в ньому реагуючих речовин (реагентів) і фізичних умов (температура  $t^o$ , тиск  $P$ ,  $pH$ , освітлення, інтенсивність змішування тощо). Якщо обмежитися урахуванням найбільш поширених бінарних реакцій, що протікають через взаємодію пар реагентів, то закон діючих мас дозволяє представити питомі швидкості реакцій через добуток вмістів реагуючих речовин.

Припустімо, що речовина  $A$  сполучається з речовиною  $B$  з утворенням речовини  $G$ , а  $C_A$ ,  $C_B$  і  $C_G$  є вміст цих речовин відповідно. Тоді для питомих швидкостей цього реактивного процесу маємо рівняння

$$r_A^{(n-)} = k_A C_A^\alpha C_B^\beta; \quad (11)$$

$$r_B^{(n-)} = k_B C_A^\alpha C_B^\beta; \quad (12)$$

$$r_G^{(n+)} = k_G C_A^\alpha C_B^\beta, \quad (13)$$

де  $k_A$ ,  $k_B$ ,  $k_G$  - це коефіцієнти швидкості реакції утворення або перетворення речовин  $A$ ,  $B$ ,  $G$ , що залежать від фізичних умов протікання реакції, яка має порядок  $n = \alpha + \beta$ .

Речовини вступають в реакції не в довільних кількостях, а у певних пропорціях, що має накладати відповідні обмеження на швидкості утворення продуктів реакцій та перетворення її реагентів. Якщо бінарна реакція  $A + B \rightarrow G$  відбувається тільки через перетворення маси  $m_A$  реагенту  $A$  та маси  $m_B$  реагенту  $B$  з утворенням маси  $m_G$  продукту  $G$ , то

$$m_A + m_B \rightarrow m_G, \quad (14)$$

то швидкості протікання відповідних реакцій в елементі системи мають задовольняти стехіометричні обмеження

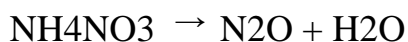
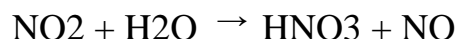
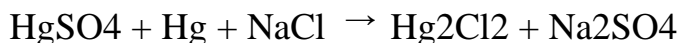
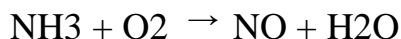
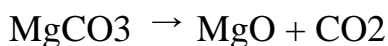
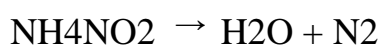
$$\frac{r_A^{(n-)}}{m_A} = \frac{r_B^{(n-)}}{m_B} = \frac{r_G^{(n+)}}{m_G} . \quad (15)$$

Стехіометричні обмеження надають можливість визначити коефіцієнти швидкості реакції через будь-який один, наприклад:

$$k_G = \frac{m_G}{m_A} k_A ; \quad (16)$$

$$k_B = \frac{m_B}{m_A} k_A . \quad (17)$$

**Завдання 4 – За допомогою стехіометричних зв'язків визначити співвідношення швидкостей перетворення речовин в наступних реакціях:**



**Заняття 5 – Приклади побудови детермінованих моделей стану екосистем**

**Мета заняття.** Ознайомитися на практиці з використанням детермінованих моделей простих інженерно-екологічних систем.

**Стислі відомості.** Детерміновані математичні моделі деяких простих інженерно-екологічних систем мають наступний вигляд.

1. Модель ідеального біореактору циклічної дії:

$$A = YC_0 + B_0 ; \quad (18)$$

$$C(t) = \frac{AC_0}{YC_0 + B_0 \exp(kAt)} ; \quad (19)$$

$$B(t) = \frac{A}{1 + \left( \frac{A}{B_0} - 1 \right) \exp(-kAt)}, \quad (20)$$

де:  $Y$  - коефіцієнт врожайності;  $C_0$  і  $B_0$  - початковий вміст речовини-субстрата і біомаси активного мулу;  $C(t)$  і  $B(t)$  - вміст речовини-субстрата і біомаси активного мулу через час  $t$  від початку процесу очищення;  $k$  - коефіцієнт швидкості реакції біотрансформації.

2. Модель ідеального біореактора-змішувача з вільною біомасою активного мулу:

$$1) B = 0, C = C_{cm}, \text{ коли } 0 < \tau < 1/YkC_{cm}; \quad (21)$$

$$2) B = YC_{cm} - \frac{1}{k\tau}, C = \frac{1}{Yk\tau}, \text{ коли } \tau > 1/YkC_{cm}; \quad (22)$$

$$\tau = \frac{W_{po}}{Q_{cm}}, \quad (23)$$

де:  $B$  і  $C$  - вміст біомаси активного мулу і речовини-субстрата у стані рівноваги процесу очищення;  $C_{cm}$  - вміст речовини-субстрата в неочищеній стічній воді на вході біореактора;  $\tau$  - час перебування стічної води в біореакторі;  $Y$  - коефіцієнт врожайності;  $k$  - коефіцієнт швидкості реакції біотрансформації;  $W_{po}$  - робочий об'єм біореактора;  $Q_{cm}$  - витрата стічної води.

3. Модель ідеального біореактора-змішувача з фіксованою біомасою активного мулу:

$$C(t) = \frac{C_{cm}}{1 + Bk\tau} + \left( C_0 - \frac{C_{cm}}{1 + Bk\tau} \right) \exp \left[ - \left( \frac{1}{\tau} + Bk \right) t \right]; \quad (24)$$

$$\tau = \frac{W_{po}}{Q_{cm}}, \quad (25)$$

де:  $C(t)$  - вміст речовини-субстрата через час  $t$  від початку процесу очищення;  $C_{cm}$  - вміст речовини-субстрата в неочищеній стічній воді на вході біореактора;  $B$  - вміст біомаси активного мулу в біореакторі;  $\tau$  - час перебування стічної води в біореакторі;  $k$  - коефіцієнт швидкості реакції біотрансформації;  $W_{po}$  - робочий об'єм біореактора;  $Q_{cm}$  - витрата стічної води.

4. Модель ідеального біореактора-витискувача:

$$C(x) = C_{cm} \exp \left( \frac{U - \sqrt{U^2 + 4BkE}}{2E} x \right), \quad (26)$$

де:  $C(x)$  - вміст речовини-субстрата на відстані  $x$  від входу стічної води до біореактора;  $C_{cm}$  - вміст речовини-субстрата в неочищеній стічній воді на вході біореактора;  $U$  - середня швидкість течії води в живому перерізі біореактора;  $B$  - вміст біомаси активного мулу в біореакторі;  $k$  - коефіцієнт швидкості



реакції біотрансформації;  $E$  - коефіцієнт дисперсії речовини - субстрата вздовж біореактора.

5. Модель динаміки вмісту неконсервативної речовини у водоймі

$$C(t) = C_0 \exp\left(-\frac{t}{\tau}\right) + C_{st} \left[1 - \exp\left(-\frac{t}{\tau}\right)\right], \quad (27)$$

де:  $C(t)$  - вміст неконсервативної речовини через час  $t$  від початку процесу біотрансформації;  $C_0$  - початковий вміст неконсервативної речовини у водоймі;  $\tau$  - час перебування неконсервативної речовини у водоймі;  $C_{st}$  - граничний вміст неконсервативної речовини у водоймі.

**Завдання 5 – За допомогою наданих детермінованих моделей виконати наступні розрахунки.**

1. Розрахувати вміст речовини-субстрата в біореакторі циклічної дії через  $t = 2, 4, 6, 8$  і  $10$  годин від початку процесу очищення, якщо  $C_0 = 660$  мг/дм<sup>3</sup> – початкова концентрація речовини;  $B_0 = 5$  мг/дм<sup>3</sup> – початкова концентрація біомаси активного мулу;  $Y = 0,8$  - коефіцієнт врожайності;  $k = 8 \cdot 10^{-4}$  дм<sup>3</sup>/мг за годину – коефіцієнт швидкості реакції біотрансформації.
2. Розрахувати вміст біомаси активного мулу в біореакторі циклічної дії через  $t = 2, 4, 6, 8$  і  $10$  годин від початку процесу очищення, якщо  $C_0 = 660$  мг/дм<sup>3</sup> – початкова концентрація речовини;  $B_0 = 5$  мг/дм<sup>3</sup> – початкова концентрація біомаси активного мулу;  $Y = 0,8$  - коефіцієнт врожайності;  $k = 8 \cdot 10^{-4}$  дм<sup>3</sup>/мг за годину – коефіцієнт швидкості реакції біотрансформації.
3. Розрахувати вміст речовини-субстрата і біомаси активного мулу в біореакторі-змішувачі з вільною біомасою активного мулу, якщо:
  - а)  $C_{cm} = 90$  мг/дм<sup>3</sup> - вміст речовини-субстрата в неочищеній стічній воді на вході біореактора;  $Y = 3,7$  - коефіцієнт врожайності;  $k = 3,7 \cdot 10^{-4}$  дм<sup>3</sup>/мг за годину - коефіцієнт швидкості реакції біотрансформації;  $W_{po} = 100$  м<sup>3</sup> - робочий об'єм біореактора;  $Q_{cm} = 1,2$  м<sup>3</sup>/годину - витрата стічної води.
  - б)  $C_{cm} = 9,5$  мг/дм<sup>3</sup> - вміст речовини-субстрата в неочищеній стічній воді на вході біореактора;  $Y = 2,2$  - коефіцієнт врожайності;  $k = 3,7 \cdot 10^{-4}$  дм<sup>3</sup>/мг за годину - коефіцієнт швидкості реакції біотрансформації;  $W_{po} = 100$  м<sup>3</sup> - обочий об'єм біореактора;  $Q_{cm} = 1,2$  м<sup>3</sup>/годину - витрата стічної води.
4. Розрахувати вміст речовини-субстрата в біореакторі-змішувачі з фіксованою біомасою активного мулу через  $t = 2, 4, 6, 8$  і  $10$  годин від початку процесу очищення, якщо де  $C_0 = 20$  мг/дм<sup>3</sup> – початкова

концентрація речовини-субстрата в біореакторі;  $C_{cm}=500$  мг/дм<sup>3</sup> – вміст речовини-субстрата у стічній воді;  $B=300$  мг/дм<sup>3</sup> – вміст біомаси активного мулу у біореакторі;  $\tau=48$  годин – час утримання стічної води в біореакторі;  $k=8 \cdot 10^{-4}$  дм<sup>3</sup>/мг за годину – коефіцієнт швидкості реакції біотрансформації.

5. Розрахувати вміст речовини-субстрата в біореакторі-витискувачі на відстані  $x=20, 40, 60, 80$  і  $100$  метрів від входу стічної води в біореактор, якщо  $C_{cm}=400$  мг/дм<sup>3</sup> – вміст речовини-субстрата в стічній воді на вході біореактора;  $B=500$  мг/дм<sup>3</sup> – вміст біомаси активного мулу в біореакторі;  $E=0,1$  м<sup>2</sup>/с – коефіцієнт дисперсії речовини-субстрата вздовж біореактора;  $k=5 \cdot 10^{-7}$  дм<sup>3</sup>/мг за секунду – коефіцієнт швидкості реакції біохімічного окислювання;  $U=0,05$  м/с – середня швидкість течії в біореакторі.
6. Розрахувати вміст неконсервативної речовини у водоймі через  $t=1, 3, 5, 7, 9, 12$  діб, якщо  $C_0=37$  мг/дм<sup>3</sup> – початковий вміст неконсервативної речовини у водоймі;  $\tau=3,8$  діб – час перебування неконсервативної речовини у водоймі;  $C_{st}=0,35$  мг/дм<sup>3</sup> – граничний вміст неконсервативної речовини у водоймі.

### **Змістовий модуль 1.3. Системний аналіз довкілля, методи математичної статистики**

#### ***Заняття 6 – Приклади побудови статистичних моделей екологічних процесів***

**Мета заняття.** Ознайомитися на практиці з використанням простих статистичних моделей процесів навколишнього середовища.

**Стислі відомості.** У широкому розумінні побудова статистичної моделі є пошуком відповідей на запитання:

1) Чи є детерміновані зв'язки, які називають трендами, між величинами за даними їх спостережень, що складають вибірку?

2) Яка структура цих зв'язків (трендів), а саме: що, від чого і яким чином залежить?

3) Як найліпше визначити параметри ідентифікованих трендів, щоб відокремити тренди від прояву випадкових факторів, який називають шумом?

4) Які характеристики має шум, що впливають на точність визначення параметрів і надання прогнозів?

Процедури, що застосовуються у пошуку відповіді на перші два запитання, складають етап ідентифікації статистичної моделі. Пошук відповідей на останні два запитання складається з процедур етапу настройки статистичної моделі.

Слід зазначити, що не кожні дані спостережень дають вибірки, що пристосовані для використання статистичного методу. Існують спеціальні рекомендації стосовно методів планування і проведення спостережень, що

забезпечують бажану якість отриманих даних. Ці методи складають зміст вибіркового методу спостережень і мають розглядатися в дисципліні “Моніторинг навколишнього середовища”. Надалі будемо вважати, що маємо дані спостережень у вигляді якісних (репрезентативних) вибірок.

Певною обмеженістю статистичного аналізу даних є те, що досить часто важко передбачити, який саме математичний вигляд має зв'язок між величинами (тренд), тому пошук доводиться проводити методом спроб і помилок. Згідно з цим методом, пошук трендів виконують поступово, а саме: по черзі формулюють різні гіпотези (випробування) щодо можливого виду тренда і перевіряють їх статистичну значимість за певним критерієм (критерій селекції). Гіпотезу відкидають як помилкову, якщо критерій не задовільнено, і приймають у протилежному випадку. Але це не гарантує, що достовірне рішення буде прийняте, тому що треба мати на увазі можливість (ризик) помилок двох типів. Ризик помилки першого роду є імовірність відкинути гіпотезу у випадку, якщо вона насправді є правильною, а ризик помилки другого роду є імовірність прийняти гіпотезу у разі, коли вона є помилковою.

Безпосередній розгляд даних спостережень дозволяє виявити певні залежності лише при досить малих розмірах вибірки. Справа у тому, що числа є лише символами кількісних співвідношень між змінними і значно гірше сприймаються свідомістю ніж образи. Тому продуктивним засобом пошуку залежностей, що можуть бути сховані у даних, є візуалізація даних за допомогою побудови точкових графіків розсіяння даних.

Коли виникає питання щодо наявності певного статистичного зв'язку між двома фізичними величинами  $X$  і  $Y$ , які визначені вибірками даних спостережень або вимірювань,

$$(x_1, y_1), (x_2, y_2), \dots, (x_n, y_n), \dots, (x_N, y_N), \quad (28)$$

у якості критерію селекції використовують вибіркового коефіцієнт кореляції  $K_{x,y}$ , що розраховують за формулами

$$K_{x,y} = \frac{1}{(n-1) S_x S_y} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y}) = \frac{n}{n-1} \cdot \frac{\overline{xy} - \bar{x} \cdot \bar{y}}{S_x S_y}; \quad (29)$$

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i; \quad \bar{y} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i; \quad (30)$$

$$\overline{xy} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i y_i; \quad (31)$$

$$S_x = \sqrt{D_x} = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}; \quad S_y = \sqrt{D_y} = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}, \quad (32)$$

де  $\bar{x}$  називають вибіровим середнім показником вимірювань величини  $X$ ;  $\bar{y}$  - це вибіровий середній показник вимірювань величини  $Y$ ;  $\overline{xy}$  - вибіровий середній добуток вимірювань величин  $X$  і  $Y$ ;  $D_x$  - це вибірова дисперсія вимірювань величини  $X$ ;  $D_y$  - це вибірова дисперсія вимірювань величини  $Y$ ;  $S_x$  - це вибірове стандартне (середньоквадратичне) відхилення вимірювань

величини  $X$ ;  $S_y$  - це вибіркове стандартне (середньоквадратичне) відхилення вимірювань величини  $Y$ ;  $n$  - це розмір вибірки. Вибірковий коефіцієнт кореляції завжди має величину в межах  $-1 \leq K_{x,y} \leq 1$ . Якщо розрахункова величина  $K_{x,y}$  задовольняє умову

$$|K_{x,y}| \geq \frac{2}{\sqrt{n-3}}, \quad (33)$$

то вважають, що з вірогідністю 95% вибірка даних спостережень виявляє тренд між величинами  $X$  і  $Y$ , який має вигляд:

$$y = \frac{S_y}{S_x} K_{x,y} \cdot (x - \bar{x}) + \bar{y} \quad (34)$$

У протилежному випадку, вважається, що або вибірка даних не виявляє статистичний зв'язок величин або розмір вибірки замалий для цього.

**Завдання 6 – За даними вибірки спостережень, що наведені в табл. 6, розрахувати параметри статистичної моделі (34)**

**Таблиця 6**

Варіант №		Результати вимірювання двох фізичних величин ( $X$ і $Y$ )													
1	xi	41,2	8,3	23,4	15,3	41	48,3	31,5	10,7	34,2	2,9	22,3	21,3	12,6	2,8
	yi	-6	16,7	15,7	13,3	-3,2	12	20,9	28,9	11,2	14,9	28	5,2	27	24,1
2	xi	30,4	8	26,6	13,2	28,6	39,2	41,7	10,2	3,9	27,6	2,3	35,7	31,8	42,5
	yi	50,8	24,7	63,4	51,3	54,4	56	68,8	49,1	29,2	54,4	19,1	64,9	53,8	61,5
3	xi	49,6	3,4	40,3	27,8	25,1	24,3	2,6	12	25,2	21,2	44,7	8	2,4	26,4
	yi	65,3	46,6	47,2	69,3	47,6	56,9	15,5	35,9	49,3	38,1	80	35,6	40,2	41,3
4	xi	35,4	42,7	31,9	43,6	35,1	21,7	5,4	16,4	48,9	9,5	16,3	23,7	49,9	33,7
	yi	23,2	19,9	33,3	33,7	12,9	29,5	21,2	-0,5	33,2	2,6	27,8	34,6	53,3	9,2
5	xi	45,6	43,9	49,1	14	27,3	29,8	30,9	9	7,8	33,7	2,1	35,7	38,5	39,7
	yi	20,2	50,4	48,4	0,8	23,6	37,9	10	-6,4	27,5	38	-8,6	46,9	14,5	39,3
6	xi	26,1	2,6	31,8	14,5	27,7	8,1	32,7	33	44,9	47,1	16,7	1,9	48,9	2,2
	yi	40,9	24	45,9	34	14	-3,3	20,8	40,5	30,5	48,1	16,7	-5,2	42,6	-9
7	xi	48	6,7	24,6	0,2	4,2	14,6	29,4	39,5	48,4	46,5	21	47,1	21,6	38,6
	yi	31,5	25,1	21,2	30,2	20,7	29,2	50,6	43,3	44,3	40,4	24,2	48,3	45,2	56,6
8	xi	7,5	4,8	30,9	17	11	49,3	5,7	24,6	22	1	44,8	43,5	44,7	22,2
	yi	40,8	23,2	37,6	42,1	19,1	30,9	21,1	31,6	39,3	24,8	42,4	45,7	26,8	27,1
9	xi	0,2	69,8	6	5,9	29,7	14,2	69,3	6,2	63,6	61,2	12,2	52,6	36,8	31,6
	yi	11,9	40	16,8	19	24,5	16,9	36,1	17,9	53,9	60,2	27,4	42,3	25,4	45,5
10	xi	64,4	31,1	37,3	23,9	41,7	28,1	13,4	14,4	60,9	36,5	59,7	55	15,6	55,8
	yi	24,6	29,4	4,1	19,7	4,7	3	-4,7	16,1	29,1	13,4	21,2	21,7	7	10,5

## ***Заняття 7 – Застосування обчислювальної техніки і програмного забезпечення в системному аналізі***

**Мета заняття.** Ознайомитися на практиці з використанням процедур-функцій, що належать до бібліотеки програмного продукту Microsoft Excel.

**Стислі відомості.** Доступність за ціною потужних високошвидкісних компактних ЕОМ разом із сучасним програмним забезпеченням сприяли в останні роки значному поширенню використання імітаційних моделей в системному аналізі докільля. Переваги комп'ютерних імітаційних моделей для розуміння, аналізу і прогнозів поведінки складних природних та інженерних систем стали загальновизнаними. Зараз значна кількість розроблених професіоналами проблемно-орієнтованих програмних продуктів, що дозволяють проводити досить складні числові імітаційні експерименти, доступні на різних умовах для практичного використання.

Більшість програм, що використовуються сьогодні, розроблені із застосуванням комп'ютерних мов програмування, таких як Fortran, Pascal, C, BASIC та ін. Кінцеві користувачі часто адаптують ці програми для своїх потреб у режимі "чорного ящика", тобто заповнюють необхідними параметрами системи, яку моделюють, певні формати і отримують величини певних параметрів, що були передбачені програмістами. Доступ користувачів до первинного коду таких програм звичайно не передбачається, що не дозволяє у необхідних випадках модифікувати програми для пристосування до власних потреб.

Часто дослідники, інженери або інші особи опиняються у ситуаціях, коли програмне забезпечення не є досить гнучким, доступним або не відповідає конкретним цілям дослідження. У таких випадках виникає потреба у розробці власних програм або комп'ютерних моделей, що відповідали б власним потребам. Використання з цією метою традиційних мов програмування потребує значного досвіду програмування та знання предметної області моделювання. Навіть коли таких досвід є, програмування може зайняти багато часу, що в умовах обмеженого використання імітаційної моделі може бути недоцільним.

Беручи до уваги потреби фахівців, що не мають досвіду програмування з використанням первинних мов, розробники програмного забезпечення створили нове покоління програмних продуктів, що легко піддається вивченню і використанню аматорами для створення власних комп'ютерних моделей. Ці програми сприймаються як програмні набори для побудови авторизованих, досить професійних імітаційних моделей за помірні кошти та нетривалий час фахівцями з мінімальним досвідом програмування. Зручний інтерфейс дозволяє користувачам будувати моделі різної складності, користуючись знайомими операторами і математичною логікою, на відміну від синтаксису і програмної логіки, що притаманні традиційним мовам програмування. Вони також вміщують шаблони для побудови графіків і діаграм, анімації, статистичного аналізу, презентацій, які користувач може з легкістю вмонтовувати у свої моделі.

Доступні на сьогодні програмні засоби імітаційного моделювання умовно поділяються на три види: програми матричних листів, пакети розв'язувачів рівнянь і пакети динамічної імітації.

Програми матричних листів, такі як Excel®, Quattro® Pro7 і Lotus8®, доступні протягом тривалого часу і мають дуже близькі властивості та можливості. Незважаючи на те, що спочатку вони розроблялись як електронні таблиці для проведення фінансового аналізу, потім до них були введені досить потужні математичні засоби, що дозволили користувачам застосовувати ці засоби для імітації явищ широкого спектра. Можна сказати, що матричні листи дозволяють працювати з числами як редактори текстів дозволяють працювати зі словами.

Робоче поле у матричному листі має вигляд таблиці, що складається зі стовпчиків, позначених літерами, і рядків, позначених числами. Перетин стовпчика з рядком сприймається як вікно, що має адресу, складену з позначок стовпчика і рядка. Користувач може обрати курсором належне вікно, щоб ввести до нього текст, число, функцію чи логічний вираз із вбудованої бібліотеки або власне рівняння. При цьому можливі посилання на вміст інших вікон за їх адресами. Власні рівняння заносять до вікон, друкуючи на екрані стандартні математичні символи з посиланням, у свою чергу, на константи, змінні, функції або власні рівняння, що знаходяться у інших вікнах за їх адресою. Зв'язки між вікнами є “живими”, тобто зміна вмісту будь-якого вікна негайно викликає зміну вмістів інших вікон, що мають посилання на нього, а також зміну графіків, що утворені з вказаних вікон.

Програми матричних листів вміщують широкий спектр вбудованих математичних, статистичних та логічних функцій, що можуть заноситися до вікон з використанням звичайних математичних позначок. Вони також вміщують меню команд для активізації процедур зберігання, форматування і сортування даних, креслення графіків, виконання розв'язків рівнянь, аналізу даних, апроксимації кривими, експорту або імпорту даних тощо. На додаток, вони включають схожу на англійську мову, що просунуті користувачі можуть застосовувати для введення функцій-макросів спеціального призначення.

Специфічною рисою Excel® є те, що він має вбудований набір різноманітних засобів малювання для користувачів, які мають намір створити якісні графічні об'єкти на робочому полі. Програми матричних листів, таких як Excel® є відносно дешевими, легкими для вивчення і користування, а також дуже швидкими і потужними для алгебричних операцій.

***Завдання 7 – Виконати розрахунки параметрів статистичної моделі за даними табл. 6 з використанням наступних процедур функцій:***

1. СРЗНАЧ – (число 1; число 2;...);
2. ДИСП – (число 1; число 2;...);
3. СТАНДОТКЛОН – (число 1; число 2;...);
4. КОРРЕЛ – (масив1; масив2).

**САМОСТІЙНА РОБОТА**  
**ЗМІСТОВИЙ МОДУЛЬ 1.1. СИСТЕМНИЙ ПІДХІД**  
*Тема 1. Побудова концептуальних моделей систем довкілля*

***Рекомендовані джерела:***

1. Пэнтл Р. Методы системного анализа окружающей среды. – М.: Мир, 1979. –214 с.
2. Волкова В.Н., Денисов А.А. Основы теории систем и системного анализа. - СПб.: Изд. СПбГТУ, 1997. - 510 с.
3. Уемов А.И. Системный подход и общая теория систем. - М.: Мысль, 1978.

**ЗМІСТОВИЙ МОДУЛЬ 1.2. Системний аналіз довкілля, моделювання стану екосистем**

***Тема 2. Використання балансових моделей екологічних процесів***

***Рекомендовані джерела:***

1. Прокопенко А.И. Вайнер В.Г., Галкин В.Л. Экономико-экологическое моделирование: Учебное пособие. - Харьков: АО “Бизнес Информ”, 1997.- 360 с.
2. Моисеев Н.Н. Математические задачи системного анализа. - М., 1981.
3. Примак А.В., Кафаров В.В., Качиашвили К.И. Системный анализ контроля и управления качеством воды и воздуха. - К.: Наук. думка, 1991.- 360 с.

**Змістовий модуль 1.3. Системний аналіз довкілля, методи математичної статистики**

***Тема 3. Використання статистичних моделей екологічних процесів***

***Рекомендовані джерела:***

1. Жлуктенко В. І., Наконечний С. І., Савіна С. С. Теорія ймовірностей і математична статистика: Навч.-метод. посібник. — У 2 ч. – К.: КНЕУ, 2005.
2. Жлуктенко В. І., Наконечний С. І., Савіна С. С. Стохастичні процеси та моделі в економіці, соціології, екології: Навч. посібник. – К.:КНЕУ, 2002. – 226с.
3. Бобик О.І., Берегова Г.І., Копитка Б.І. Теорія ймовірностей і математична статистика. – Львів: ЛБІНБУ, 2003. 101 стор.
4. Гурман В.Е. Теория вероятностей и математическая статистика.-М.: Высш. шк., 1978.

***Тема 4. Застосування методу “мозкового штурму”***

***Рекомендовані джерела:***

<http://en.wikipedia.org/wiki/Brainstorming>

***Тема 5. Застосування методу Делфі***

[http://en.wikipedia.org/wiki/Delphi\\_method](http://en.wikipedia.org/wiki/Delphi_method)

## НАВЧАЛЬНЕ ВИДАННЯ

Методичні вказівки до практичних занять і самостійної роботи з дисципліни  
“Системний аналіз довкілля ” (для студентів 2 курсу денної форми навчання  
освітньо-кваліфікаційного рівня бакалавр напряму підготовки  
6.040106 - “Екологія, охорона навколишнього середовища  
та збалансоване природокористування ”)

Укладач: **Бараннік** Валерій Олександрович

Відповідальний за випуск *В. О. Бараннік*

Редактор *О. В. Тарасюк*

Ком'ютерне верстання *К. А. Алексанян*

План 2010, поз. 65М

Підп. до друку 04.11.2010	Формат 60x84/16.
Друк на різнографі	Ум.-друк. арк. 1,4.
Зам. №	Тираж 100 пр.

Видавець і виготовлювач  
Харківська національна академія міського господарства  
вул. Революції, 12, Харків, 61002  
Електронна адреса: rectorat@ksame.kharkov.ua  
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи:  
ДК № 4064 від 12.05.2011 р.